

王为学 陈焕琪 编著

电除尘器 自动控制装置

DIAN

CHUCHENQIZIDONG
KONGZHI ZHUANGZHI

湖北科学技术出版社

电除尘器自动控制装置

王为学 陈焕琪 编著

湖北科学技术出版社

电除尘器自动控制装置

王为学 陈焕琪 编著

※

湖北科学技术出版社出版发行 新华书店湖北发行所经销

湖南临湘县印刷厂印刷

850×1168毫米 32开本 7.125印张 3插图 170千字

1988年3月第一版 1988年3月第一次印刷

ISBN7-5352-0227-6/TP·4

印数: 1—7 500 定价: 2.20元

前 言

随着工业生产的飞速发展，环境保护越来越处于重要位置。电除尘器以其高效、低耗，便于维护等优点，在大规模工业除尘中其地位已显得举足轻重，特别是在火力发电厂中，它作为一种主要的大型工业除尘设备，迅速得到发展。这本《电除尘器自动控制装置》，是专门介绍电除尘器供电知识的书籍，它不仅普及电除尘器供电的基础知识，而且详细地介绍了电除尘器高低压电源装置的工作原理、工艺过程和具体控制线路，还用较多的篇幅介绍了现场维护和使用电除尘器自动控制装置的基本知识，以及在使用中普遍存在的问题和判断处理方法。

本书可供从事电除尘器供电科研设计、使用等方面的专业人员、工人阅读，也可供大专院校环境保护、自动控制，以及从事环境保护工作的其他工程技术人员、管理人员阅读和参考。

近年来，我国电除尘器的供电技术发展很快，希望《电除尘器自动控制装置》一书，能起到抛砖引玉的作用，并且愿意同这方面的专家、同行共同促进，把我国电除尘器供电技术推进到一个新的水平。

水利电力部环境保护办公室

一九八六年七月

ABA 19/00

编著者的说明

《电除尘器自动控制装置》一书，在水电部环境保护办公室及社会各方面的大力支持下与读者见面了，在此我们表示衷心的感谢。

在长期的科研工作中，我们与福建电力中心试验所郑长明同志进行了较长时期的合作。郑长明同志虽未参与本书的编写。但本书的问世是与他的合作和支持分不开的。

武汉钢铁公司烧结厂杨元甫同志对本书除了在科研上给予真诚合作外，在成稿过程中，还作了大量的文字和图纸校阅工作。本书介绍的高低电压源的（A）型装置部分，还得到武汉钢铁公司耐火材料厂杜明成同志的大力支持。

本书在技术上，由水电部电力环境保护研究所副所长、高级工程师王励前作指导，并在文字上得到他认真的修改。编著者所在单位也给予了大力支持。总之，《电除尘器自动控制装置》，离开了以上单位和个人的支持，是不可能与读者见面的，在此，谨向他们致以深切的谢意。

本书为王为学、陈焕琪编著，由王为学同志执笔，内容除第一章和第九章参考有关资料写成外，其它各章均按实际装置进行撰写。由于编写者经验不足，加之水平有限，书中的不足之处和错误，恳请读者批评指正。

一九八六年七月

目 录

第一章 概述	1
第二章 可控硅自动控制高压硅整流 (A 型) 装置	16
第一节 操作回路工作原理.....	17
第二节 主回路工作原理.....	24
第三节 自动控制回路工作原理.....	28
第三章 低压自动控制 (A 型) 装置	47
第一节 阴、阳极振打控制.....	48
第二节 卸 (输) 灰控制.....	55
第三节 高压绝缘子的加热保温控制.....	59
第四节 高压安全接地开关控制.....	64
第五节 高压整流室通风机控制.....	69
第六节 安全逻辑联锁控制.....	71
第七节 高压运行与低压电源的联锁控制.....	73
第八节 低压操作与讯号显示电源的控制及其输出.....	74
第九节 电除尘器的通常运行及设备事故的远距离 监视.....	78
第四章 可控硅自动控制高压硅整流 (B 型) 装置	82
第一节 操作回路工作原理.....	82
第二节 主回路工作原理.....	85
第三节 自动控制回路工作原理.....	87
第五章 低压自动控制 (B 型) 装置	102
第一节 阴、阳极振打控制.....	102
第二节 料位检测.....	108

第三节	卸(输)灰控制	110
第四节	绝缘子加热控制与保护措施	113
第五节	绝缘子保温室低温监视及其与高压电源的 联锁控制	117
第六节	高压安全接地开关控制	119
第七节	安全逻辑联锁控制	121
第八节	高压整流器的油温监视	123
第九节	温度检测与显示	126
第十节	故障报警	127
第六章	电除尘器自动控制装置的使用	129
第一节	高压电源的选型	129
第二节	电除尘器供电装置运行的基本条件	132
第三节	装置的现场安装	134
第四节	现场操作使用	139
第五节	装置的维护管理	149
第七章	高压供电装置的现场调试	152
第一节	检查调试各种讯号控制电源	153
第二节	自控回路移相控制方波、系列(触发)脉 冲的检查调试	157
第三节	检查调试主回路调压可控硅	164
第四节	电场电压上升、下降($\pm du/dt$)控制特 性和网络封锁特性调试	166
第五节	高压变压器主绝缘和硅堆耐压试验检查	171
第六节	电流(极限)整定环节的检查调试	174
第七节	网络与拉弧讯号反馈环节的检查调试	177
第八节	过流欠压跳闸报警环节的检查调试	179
第九节	主回路参数调整和高压电源的并联运行	181
第八章	低压供电装置的现场调试	186

第一节	“振打周期”与“振打换向”控制环节的检查调试.....	186
第二节	“振打程序”控制和“振打时间”控制的检查调试.....	191
第三节	料位检测与卸（输）灰控制环节的检查调试.....	197
第四节	绝缘子加热保温控制及低温监视与联锁控制环节的检查调试.....	201
第五节	其它环节的检查调试.....	202
第九章	电除尘器的新型供电装置.....	206
第一节	调幅移相调压的高压整流装置.....	206
第二节	高压脉冲电源.....	211
第三节	电除尘器高压电源的微型计算机控制.....	215

第一章 概 述

在大量工业废弃物中，工业含尘废气对环境造成的污染是其主要方面之一。

工业含尘废气主要来源于冶金、电力、建材、机械、化工等各工业部门的工业窑炉的冶炼或焙烧过程。在我国大型钢铁企业中，仅一台300吨的吹氧炼钢平炉为例，每小时产生的含尘废气就达 $3.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{小时}$ 以上。在吹氧冶炼的高峰期，如不加治理，每小时竟要向大气中平均排出5~6吨粉尘；又如在大型燃煤电站，一台三十万千瓦的发电机组，其燃煤锅炉每小时产生的废气约 $10^6 \text{ m}^3/\text{小时}$ ，这些废气从锅炉中带走的煤灰每小时高达20吨左右。在建材行业一台时产水泥2~2.5吨的小型水泥窑，其飞灰排出量要占产量的10%左右。

上述几例便足以说明，各工业生产过程所产生的废气向大气排放的粉尘量是惊人的！如不进行有效地治理，环境污染造成的经济损失及其对人类和自然界各类生物的危害是极为严重的。

因此，世界各国都在采取有效的措施对工业含尘废气进行净化，以尽量减少粉尘向大气排放的浓度，使空气的新鲜程度能达到人类赖以生存的程度。目前，各国环境保护立法部门，对各种工业含尘气体向大气中排放粉尘的浓度都制定有严格的排放标准。一般来说大都在 $200 \sim 100 \text{ mg/NM}^3$ 之间。近年标准的制定有向更严格方向发展的趋势。如某些发达国家的立法部门已制定了 50 mg/NM^3 的标准。个别甚至有要求某些粉尘排放达到 10 mg/NM^3 以下的更严格的排放标准。我国也和世界大多数工业发达国家一样，对大多数工业含尘气体，规定向大气中所排放的粉尘

浓度应在 $150\text{mg}/\text{NM}^3$ 以下。

为降低废气含尘量的除尘方法很多。如：重力除尘、惯性除尘、旋风除尘、文氏管、文丘里除尘，湿法除尘（水幕除尘、泡沫除尘）等。但这类除尘方法大都比较简单原始，处理风量小，效率低，净化后的气体含尘浓度一般都达不到规定的排放标准。

但大规模的工业高效除尘器则以袋式除尘器、电除尘器为主。

例如我国各大型钢铁企业烧结机尾除尘。大多采用电除尘器。仅武钢烧结厂，已安装运行的从 20M^2 到 60M^2 等各种不同规格的电除尘器共十余台。各种有色冶炼厂在冶炼过程中，电除尘器不仅作为废气净化设备而且可作为生产设备。如作为回收有用金属的设备。如我国山东张店铝厂，就装有大小各种不同规格和型式的电除尘器不下数十台。国内水泥行业据有关部门近年不完全统计，在130余台回转窑上所安装的110余台除尘设备中绝大部分为电除尘器。电力部近年兴建的大型火力发电站燃煤锅炉的除尘几乎全部安装的是大型电除尘器，并规划今后为重点发展的除尘设备。

总之，电除尘器之所以能获得广泛应用，是与其所具有的突出优点分不开的。主要表现在：

第一、电除尘器的运行和维修费用低廉。

这是目前其它任何除尘器所无法相比的。电除尘器内部阻力损失仅为 $5\sim 20\text{mm}$ 水柱。而袋式除尘器或颗粒层除尘器的阻力均在 $80\sim 100\text{mm}$ 水柱左右。这样，电除尘器风机常年运行费用比起其他任何除尘器要低廉得多。电除尘器的高压电源，其工作电流的比值也只有 $0.3\text{mA}/\text{M}$ 左右。一台设计合理，安装制造质量合格的电除尘器投产后几乎没有多少维护检修量，因而所需要的维护费用也是低廉的。

第二、电除尘器的除尘效率高。

仍以钢铁企业为例一台300吨的吹氧炼钢平炉所使用的电除尘器。其有效过滤面积约为 $75\sim 100\text{M}^2$ 之间。而在大型燃煤电站一台30万千瓦发电机燃煤锅炉所使用的电除尘器有效过滤面积达 200M^2 左右。在建材行业，一台时产水泥2~2.5吨的小水泥窑，所使用的电除尘器为 10M^2 左右。这些电除尘器虽大小规格及其使用的行业场合均不相同，但当电场风速在 $1\sim 1.5\text{m/s}$ 左右时，除尘器入口含尘浓度为 $10\sim 20\text{g/NM}^3$ 的情况下，其除尘效率实际测定均达99%以上，排出口浓度都可在 150mg 的国家规定排放标准以下。可见，电除尘器无论其容量大小如何和服务于不同的对象及场合，都可以获得比较高的除尘效率。

由于上述显著优点，随之而来的是凡对于有可回收利用价值的粉尘，使用电除尘器比使用其他除尘器则有更高的经济回收效益。以鞍钢12号吹氧炼钢平炉为例，通过电除尘器收集下来的粉尘92%以上是三氧化二铁，纯铁占大约66%左右，对炼铁而言确属很高品位的精矿粉。配置一台 $70\sim 80\text{M}^2$ 的电除尘器，其造价虽高达三百万元以上，但每年仅粉尘回收利用的经济价值就不下九十万元。因此，只需3~4年的时间就可回收所有投资费用。这就是为什么电除尘器虽然一次投资费用比较高昂，但仍然能得到普遍应用的主要原因之一。因此，电除尘器的科研、设计、使用等方面也越来越受到各方面的重视，进而对电除尘器技术的发展起到了很好的推动作用。

在我国冶金、电力、建材、机械……等主要工业部门和一些地方工业部门都有自己的专业化电除尘器生产厂，能够生产过滤面积从几个平方米到二百平方米以上的各种规格的工业电除尘器。生产电除尘器的工艺水平也越来越高，极板、极线均采用自动化机械轧制，具有较高的质量水平。预计今后我国电除尘器技术还将有一个更大的发展。

电除尘器的除尘原理如下：

含尘废气从工业窑炉中被吸引到电除尘器内部，在电除尘器阳极板和阴极线之间施加数万伏的直流高压，由于高压静电场的作用，使进入电除尘器空间的空气充分电离而使得其空间充满带（+）、（-）电荷的离子。随气流进入电除尘器内的粉尘粒子与这些（+）、（-）离子相碰撞而被荷电。带电尘粒由于受高压静电场库仑力的作用，根据粉尘带电极性的不同，分别向除尘器的阴、阳极运动，荷电尘粒到达两极后，分别将自己所带的电荷释放掉，通过电极与电源形成回路便产生电除尘器的工作电流，尘粒本身则由于其固有的粘性而附着在极板、极线上最后被捕集下来。另外气体电离后，电除尘器空间（+）、（-）离子电荷总量是相等的，但由于（-）离子数目远比（+）离子数目多得多，且实践证明，总是电除尘器的阴极接（-）高压作为电晕极，阳极接高压电源的（+）端作为收尘极并接地而有比较好的除尘效果。所以进入电除尘器内的粉尘粒子也总是大多数被带上（-）电荷而被阳极所捕集下来。

理论和实践还证明，电除尘器的除尘效率与施加于电除尘器的高压静电场 E^2 近似成正比的关系。所以必须给电场施加尽可能高的高压，才能使电场中的气体分子充分电离，使粉尘有机会带上尽可能多的电子而获得较高的除尘效率。但电除尘器的阴、阳极间的距离确定后，两极间所能施加的直流高压是不可能无限制的增加的。以干燥的清洁空气为介质，则电场所能施加的最大场强其设计值一般在 $3 \sim 4 \text{ kV/cm}$ 。如果施加给电场的高压值已超过了两极间所能承受的最大场强，就会使电场产生高压击穿并伴随产生火花放电。习惯上把这种现象叫做“闪络”放电。如果给电场所施加的高压超过极限值很多，将会使电场高压产生持续的弧光放电，即所谓“拉弧”现象。电场产生拉弧时，使正常的电晕被破坏，此时除尘效率将严重下降，如不能有效地加以克服，还可能造成设备事故。所以，电除尘投入运行时，是不允许

产生频繁拉弧现象的。

但是，进入电除尘器的废气和干燥的清洁空气是大不一样的。废气中除含有大量粉尘外，随着工业窑炉冶炼或焙烧过程中各种工艺和操作条件的频繁变化，使得所产生的废气成份及其粉尘属性也跟随着发生频繁变化。这些变化的结果往往使电场所能施加的高压极限值发生变化而导致闪络或拉弧。

影响电除尘器正常运行的一个重要参数是粉尘的比电阻。

所谓粉尘比电阻，实质上是衡量荷电粉尘到达收尘极后释放电子能力的一个参数。带（-）离子的粉尘到达电除尘器的阳极板后，附着在阳极上已被收集下来的粉尘层的外侧并继续受库仑力的作用。此时由于尘粒表面（-）离子与尘粒间的粘结力远小于电场库仑力对这些离子的吸引力，因而使得这些（-）离子不得不离开尘粒表面并穿过阳极板上的粉尘层而到达阳极板。这就是荷电尘粒被阳极俘获后将其表面（-）粒子释放并形成电除尘器工作电流的过程。由于各种不同粉尘性质的不一样，使得电子穿过粉尘层所受到的阻力大不一样。因而使得粉尘释放其表面离子的能力也大不一样。为了区别这种能力起见，则用比电阻这个参数来表示。

粉尘的比电阻值可以采用专门的比电阻测定仪在实验室或现场直接测试到。在实验室的测定方法通常有：（1）圆盘电极法，（2）针状圆盘电极法，圆筒电极法。在现场测定则另有现场比电阻测定仪。

比电阻的测定、计算、定义方法与导线电阻率的测定、计算、定义方法几乎完全相同。在实验室以圆盘电极法为例，将堆积的粉尘夹在两个圆盘电极之间，圆盘直径为 36mm^2 ，粉尘厚度 $2\sim 6\text{mm}$ 。在电极间施以高压直流电，测量出受试过程中两极间有可能导致粉尘层击穿前瞬间的电压、电流值，然后根据式（1—1）计算出受试粉尘的比电阻值：

$$\rho = \frac{U}{I} \cdot \frac{S}{L} \text{ 欧姆} \cdot \text{厘米} \quad (1-1)$$

式中:

U——受试电压 (伏)

I——受试电流 (安)

S——圆盘面积 (厘米)²

L——粉尘厚度 (厘米)

显然, 由式 (1-1) 可清楚看出, 粉尘比电阻的真实定义与材料的电阻率确有近乎相同的含义。用这个公式计算材料的电阻率, 即是该材料一定单位的体积电阻。而在用这个公式计算粉尘比电阻值所得到的数值, 不能只认为也只是粉尘的体积电阻, 除了粉尘颗粒内部的体积电阻外, 还包括粉尘颗粒本身, 以及颗粒间的表面传导电阻。而且在很多高比电阻粉尘中, 在低温情况下测量时, 得出的结果主要是表面电阻, 在高温情况下, 由于表面电阻降低, 故在测得的结果中, 体积电阻才占有主导地位。

粉尘比电阻值的大小, 还随测试工艺操作条件不同而有差别, 如烟灰的松散度, 温度、湿度和细度等。因此这个测量结果也只是一个相互可以作为比较的参考值。实践证明, 粉尘比电阻值的测定, 以在现场工艺条件下进行更为真实。

一般在设计选用电除尘器时, 必须首先知道被捕集粉尘的比电阻值。目前, 国内无论在实验室或电除尘器实际运行的现场, 都能用专门的仪器对粉尘的比电阻值进行测定。一般公认, 粉尘的比电阻值在 $10^4 - 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 范围内, 使用电除尘器都能获得比较好的捕集效果。

比电阻值在 $10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下的粉尘, 称为低比电阻粉尘。电除尘器难以捕集, 这是因为: 这类粉尘到达除尘器阳极板以后, 除迅速使其表面所附着的 (-) 离子释放掉外, 尘粒自身那些排列在最外层的低能电子还很容易受阳极正电势场的作用而被阳极板所拉

走,此时尘粒将失去电子而反而变成带上正电荷了,这些重新带上正电荷的粉尘粒子将反过来受到阳极正电势场的排斥而被弹回到除尘器空间。由于粉尘的这种“回弹”现象造成除尘效率的降低。

粉尘比电阻值在 $10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上时,称为高比电阻粉尘。这类粉尘在阳极堆积到一定厚度时,电除尘器的供电状况将明显恶化,产生频繁闪络,电场运行电压大幅度下降,除尘效率明显降低。这是因为,这类荷电尘粒被阳极俘获后,附着在尘粒表面的 $(-)$ 离子受电场库仑力的作用,离开原来的尘粒穿过粉尘层继续向阳极板运动时,由于受到的阻碍作用较大,而使得部分 $(-)$ 离子不能穿过粉尘层到达阳极板而被阻挡残留在阳极粉尘层上。这些残留在粉尘层上的电子在粉尘层到阳极板之间的间隙上形成一个负电势场,这个负电势场对后来到达阳极粉尘层的尘粒所释放的电子更具有阻碍其到达阳极的作用,其结果随着阳极板上粉尘厚度的增加,残留在阳极粉尘层上的电子会越来越多,造成粉尘层到阳极板间隙之间的负电势场的场强也越来越强,当这个场强达到一定程度时,粉尘层至阳极板之间的空气间隙将被击穿。这种粉尘层间气体的击穿现象叫做电除尘捕集高比电阻粉尘的“反电晕”现象。随着反电晕现象的产生,将使电场所能施加的高压值大幅度降低,闪络频繁产生,电场运行的电压电流值明显降低,除尘效率也将大幅度下降。所以,当设计使用一台新的电除尘器时,为了获得预期效果,首先必须掌握被净化的气体中粉尘的比电阻值是否在适合电除尘器捕集的 $10^4 - 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 范围内。否则就应考虑采取必要的技术措施使粉尘比电阻值达到适合于电除尘器捕集的范围。

气体温度也是影响电除尘器正常运行的主要参数之一。

粉尘的比电阻值与烟气温度有密切关系。同时电除尘器切忌运行在粉尘比电阻的高峰区所对应的烟气温度之下。随着进入电除尘器内烟气温度的增高,气体体积跟着增大,电场烟气流速也

随之增大，烟气温度的增高还将使粉尘粘度增大，电场击穿电压降低。这些都将使电除尘器的运行条件变差，除尘效率降低。当电除尘器内烟气温度较高时，一般都主张通过降低烟气温度来使上述变得恶化的条件得到改善。

电除尘器入口粉尘浓度的大小也会对其运行状况产生明显的影响。

电除尘器入口粉尘浓度过大时，将使粉尘粒子的荷电量不充分，这些荷电不充分的粒子受电场库仑力的作用必然减弱，因而向极板运动的速度大大减慢甚至长时间到达不了阳极板而滞留在电除尘器空间。如果除尘器空间这类荷电不充分的粒子达到一定数量时，将使电除尘器阴极电晕能力大大削弱，因而使后来进入电除尘器的粉尘荷电量更加减少，以致使大量悬浮在电除尘器空间到达不了阳极板的荷电不充分的尘粒越来越多，这类荷电尘粒包围在阴极电晕线周围，使电除尘器高压运行电流减小到近似零值。这种由带电尘粒悬浮在电除尘器的空间长时到达不了阳极板所产生的有害现象叫做“电晕闭塞”。一种更特殊的电晕闭塞现象是在电除尘器的阴极电晕线上包上了厚厚的一层粉尘，通常把这种现象叫做电晕极“肥大”现象。

此外，粉尘的粘度、粒度分布，凝聚性，比重……等参数都能引起电除尘器运行状况和供电电压的变化。

电除尘器操作条件的变化，也会导致电除尘器运行状况和供电电压的变化。如电除尘器阳极因振打清灰不及时或效果不理想，将导致阳极板上积灰严重，使电场所能施加的电压降低，闪络频繁。若电除尘器的阴极清灰效果不好，阴极线上积灰严重，将使阴极电晕能力降低，粉尘荷电量减少，除尘器的运行电流低下。如果绝缘子保温不善，有可能在绝缘子表面产生结露，使绝缘子表面绝缘能力降低，将引起电场高压在绝缘子处频繁闪络。如果电除尘器的密闭性能不好，将会使除尘器漏风增大，电场烟气

流速增加。

总之，进入电除尘器内废气中的任何一个因素发生变化，都将不同程度地影响电除尘器运行状况和电场供电电压的变化。因此为了改变或适应电场烟气条件的变化，改善电除尘器的运行条件和提高电场供电电压，就必须采取相应的技术措施或要求电除尘器的供电装置有比较高的自动化程度及良好的控制特性，使电除尘器无论在任何情况下都能够发挥比较高的效益。本书将围绕着电除尘器的工作过程，着重介绍电除尘器的自动控制装置（包括电除尘器的高压整流装置和低压控制装置）为满足电除尘器运行要求的工作原理。

电除尘器上最早使用的高压整流装置是机械式整流器。高压机械整流器的整流原理和普通的直流发电机使用整流子的道理相似。即通过同步电机带动十字整流桨将交流电转换成单极性的直流电压。

机械整流器由于以旋转的部件为主，故机械磨损快，电压损失大，且电压不能自动调节，整流效率低。并伴随有噪声和臭氧产生，由整流间隙所产生的电火花及其高次谐波还会以电磁波的方式向四周辐射传播，干扰周围的无线电设备。尽管如此，由于对工人的操作管理水平要求不高，直到70年代初我国才逐渐停止使用这种设备。

电子管高压整流器出现在机械整流器之后。

这种整流器无旋转的机械部分，无噪声和间隙火花存在，整流效率也比较高。但这种整流装置的机械性能不理想，管子本身容易受机械损伤，灯丝损耗大，寿命短。耐过电压过电流的冲击能力差。国内除个别科研单位在少数场合曾作过规模不大的工业试验外，并没有在电除尘器上普遍使用过。

硒整流器除具有电子管整流器的优点外，最显著的特点是过载能力强，机械性能较好。特别是硒堆击穿后，具有自然恢复能